ارزیابی عامل‌های مؤثر در رویداد زمین لغزش و پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان)

دکتر شهریار خالدی[۱] ــ دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی تهران،ایران
خه‌بات درفشی ــ کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی تهران،ایران
اکبر مهرجونژاد ــ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران،ایران
سعیده قره‌چاهی ــ کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی تهران،ایران
شاهین خالدی ــ دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۱۳   تاریخ تصویب:۱۳۹۱/۵/۲۷

چکیده

زمین لغزش از جمله مخاطرات طبیعی است که موجب خسارت‌های مالی، جانی و تخریب منابع طبیعی می‌شود. ترکیب عامل‌های طبیعی و انسانی، شرایط رویداد این پدیده ناپایدار دامنه‌ای را در فرآیندهای انتقال ژئومورفیکی درپی دارد. در پژوهش حاضر، با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط ArcGIS به شناسایی عوامل مؤثر در رویداد زمین لغزش و پهنه‌بندی میزان خطر این رویداد در حوضه آبخیز طالقان پرداخته شد. لایه پهنه‌های زمین لغزش به‌عنوان متغیّر وابسته و لایه‌های زمین شناسی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، ارتفاع، شیب، جهت دامنه و تراکم شبکه آبراهه به‌عنوان متغیّرهای مستقل در مدل وارد شدند. ضرایب به دست آمده از اجرای مدل، متغیّر فاصله از گسل را مهم‌ترین عامل مؤثر در رویداد زمین لغزش حوضه نشان می‌دهد. برمبنای استاندارد سازی لایه‌ها و ضرایب به دست آمده، پهنه‌بندی خطر احتمال رویداد زمین لغزش در پنج رده بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین انجام گرفت که درصد مساحت این پهنه‌ها به ترتیب ۲۸/۱۹، ٤٦/٦٤، ۱۸، ٦/٨٤ و ۲/۳۳ از مجموع مساحت حوضه است؛ به عبارتی ۷۲/۸۳ درصد از مساحت حوضه آبخیز طالقان در رده‌های با خطر بالا و بسیار بالا قرار می‌گیرد.

کلیدواژه‌ها: زمین لغزش، پهنه‌بندی، رگرسیون لجستیک، GIS، حوضه آبخیز طالقان.

۱- نویسنده مسوول: ۰۹۱۲٤۵۷۱۲۸۲   Email: shahriar_khaledi6@yahoo.com

۱. مقدمه

زمین لغزش از جمله مخاطرات طبیعی است که همه ساله خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز به‌همراه دارد. رشد سریع جمعیت، گسترش شهرها در نواحی کوهستانی، مشکل بودن پیش‌بینی زمان رویداد زمین لغزش و متعدد بودن عامل‌های مؤثر در رویداد این پدیده، ضرورت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را آشکار می‌سازد. با استفاده از پهنه‌بندی خطر رویداد زمین لغزش می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر را شناسایی نمود و با ارائه راهکارها و شیوه‌های مدیریتی مناسب تا حدی از رویداد زمین‌لغزش ها جلوگیری و یا خسارات ناشی از رویداد آن‌هارا کاهش داد (احمدی،۱۳۸۲: ۳۲۳ ؛ کورکی نژاد، ۱۳۸۵: ۳٦۲).

ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت تکتونیکی و لرزه خیزی زیاد، شرایط متنوع اقلیمی و زمین شناسی عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از لغزش داراست (نیک اندیش، ۱۳۷٦: ۱٦). براساس آمار اولیه بانک اطلاعاتی زمین لغزش‌های کشور (وزارت جهاد کشاورزی،۱۳۸۳) خسارات ناشی از ۲٥٤۸ زمین لغزش بالغ بر ۱۰۷ کشته و ۳۸٦ میلیارد ریال است.

حوضه آبخیز طالقان از جمله مناطقی است که به‌دلیل بارندگی نسبتاً فراوان و وجود تشکیلات زمین شناسی مساعد، رویداد زمین لغزش‌های متعددی در آن گزارش شده است. براساس تحقیقات حق شناس(۱۳۸۱) و پژوهشکده حفاظت خاک وآبخیزداری (۱۳۸۱) تعداد٤٥٤ زمین لغزش در منطقه شناسایی شده است؛ این تعداد براساس آمار سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور ٥۰۰ زمین لغزش است.

بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزار تحلیلی پایه در پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش همراه با مدل‌های مناسب بسیار مؤثر است. نقشه پهنه‌بندی بر پایه عوامل محرک بر روش‌های کمی و کیفی زیادی استوار است؛ از جمله روش‌های موجود، مدل‌های آماری از جمله رگرسیون لجستیک است. پژوهش‌های زیادی از مدل رگرسیون لجستیک[۱] جهت پیش‌بینی احتمال وقوع زمین لغزش با تحلیل نمودن روابط عاملی بین عناصر مؤثر و زمین لغزش استفاده نموده‌اند (اولماچر و دیویس[۲]، ۲۰۰۳؛ دیی و لی[۳] ۲۰۰۳؛ آیالیه و یاماگیشی[٤]، ۲۰۰٥؛ لی[٥]، ۲۰۰٥؛ یسیلناکار و توپال[٦]، ۲۰۰٥؛ کن[۷] و همکاران، ۲۰۰٥؛ ایخاوت[۸] و همکاران، ۲۰۰٦؛ دومان[۹] و همکاران، ۲۰۰٦؛ چانگ[۱۰] و همکاران، ۲۰۰٦؛ لی و همکاران،

1 Logistic Regression
2 Ohlmacher and Davis
3 Dai and Lee
4Ayalew and Yamagishi
5 Lee
6 Yesilnacar and Topal
7 Can
8 Eeckhaut
9 Duman
10 Chang

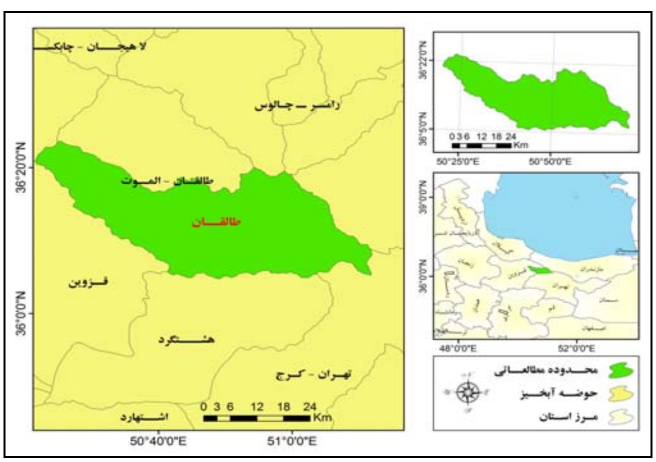
۲۰۰۷؛ لین[1] و همکاران، ۲۰۱۰) و در ایران (اشقلی فراهانی، ۱۳۷۹؛ شیرانی، ۱۳۸۲؛ گرایـی، ۱۳۸٦؛ کاویـان و همکـاران، ۱۳۸۸؛ مصفایی و همکاران، ۱۳۸۹؛ حسین زاده و همکاران، ۱۳۸۹).

بنابراین اهداف این تحقیق ، بررسی عامل های مؤثر در رویداد زمین لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر این پدیده بـه-منظور شناسایی مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای لغزش در حوضه آبخیز طالقان با اسـتفاده از مـدل رگرسـیون لجستیک و نرم افزار GIS جهت ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب برای مقابله با بحران ناشـی از زمـین لغـزش، کـاهش خسارات آن و بهبود وضعیت زیست محیطی است.

۲- مـواد و روش‌هـا

۲-۱-ویژگی‌های منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز طالقان با مساحتی معادل ۱۳۲٦ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های مهم سفید رود به‌شمار مـی‌رود کـه در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز و در بخش شمال غربی تهران و به فاصله ۱۲۰ کیلومتری از این شهر واقع شـده اسـت. ایـن حوضه از شمال به حوضه آبخیز الموت، از جنوب به زیاران و صمغ آباد، از شرق به بخشی از حوضه آبخیز کرج و از غـرب به حوضه آبخیز شاهرود محدود می‌شود. موقعیت جغرافیایی حوضه بین ′۵ °۳٦ تا ′۲۳ °۳٦ عـرض شـمالی و ′۲۱ °۵۰ تـا ′۱ °۵۱ طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). ارتفاع متوسط حوضه ۲۷٤۰ متر ازسطح دریا (ارتفاع حداکثر ٤٤۰۰ و حداقل ۱۰۸۰ متر) است. بر مبنای دوره آماری ۱۰ ساله داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک کرج و هشتگرد و ایستگاه باران‌سنجی جزنیـان، میـانگین بارش سالانه حوضه آبخیز طالقان ۵۱۵/۱٦میلیمتر و دمای سالانه آن نیز ۱۰/۵ درجه سانتیگراد است (سازمان هواشناسی استان تهران) که براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، آب و هوای حوضه در طبقه نیمه مرطوب قرار می‌گیرد.



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز طالقان

1 Lin

در پژوهش حاضر، لایه پراکنش رویداد زمین لغزش حوضه آبخیز طالقان از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه گردید، که شامل موقعیت جغرافیایی زمین لغزش‌ها به همراه زمان وقوع، ویژگی‌های مورفومتری و عوامل مؤثر در رویداد آن‌هاست. زمین شناسی محدوده مورد مطالعه و لایه گسل از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور تهیه گردید. لایه‌های آبراهه و جاده نیز از نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ پایگاه داده‌های علوم زمین استخراج شد. مدل ارتفاعی رقومی[۱] سنجنده ASTER با اندازه سلول‌های[۲] ۳۰ متری، مبنای داده‌های ارتفاعی، شیب و جهت شیب قرار گرفت.

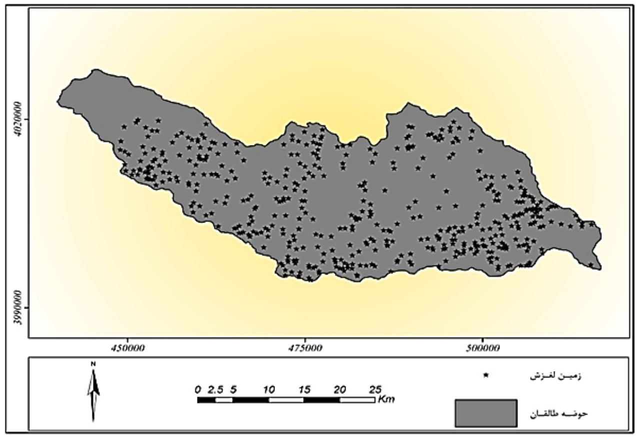
۲-۲- آماده سازی داده‌ها و مدل رگرسیون لجستیک

شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، مهم‌ترین مرحله پهنه‌بندی رویداد این خطر است (حسین زاده و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۸). در پژوهش حاضر، جهت شناسایی این عوامل از روش بینا استفاده شده است (در پهنه‌بندی‌های بینا با مبنا قرار دادن نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، وزن‌دهی (امتیازدهی) به پارامترهای مختلف و کلاس‌های آنان صورت می‌گیرد)؛ در این روش با استفاده از لایه پراکنش زمین لغزش و مقایسه آن با نقشه عواملی که گمان می‌رود در رویداد زمین لغزش سهیم بوده‌اند، نقش آن‌ها تعیین می‌گردد. براساس تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی، ۷ عامل اولیه مؤثر بر زمین لغزش در حوضه آبخیز طالقان شناسایی شدند؛عواملی که در سطح منطقه یکنواخت نبوده و دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند. تنها برای لایه زمین شناسی که ویژگی‌های آن به‌صورت متنی بود از روش بینا استفاده نشد و جهت تبدیل آن به لایه رستری، به هر کدام از واحدهای زمین‌شناسی ارزش عددی داده شد.

در ابتدا داده‌های پراکنش رویدادهای زمین لغزش در حوضه آبخیز طالقان به صورت نقطه‌ای درآمد؛ سپس این لایه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و نیز Google Earth به پهنه‌های لغزشی تبدیل گردید؛ یعنی با تعیین پراکنش موقعیت نقطه‌ای زمین‌لغزش‌ها برروی تصاویر ماهواره‌ای و Google Earth، برمبنای این موقعیت و محدوده مکانی زمین لغزش اتفاق افتاده و همچنین ویژگی‌های ظاهری آن (محل تاج زمین لغزش، مقدار توده افتاده، میزان جابجایی سطحی خاک و ...)، لایه نقطه‌ای به لایه سطح یا پهنه‌ای زمین لغزش‌ها تبدیل گردید. لایه به دست آمده از پهنه‌های رویداد زمین لغزش به‌عنوان مهم‌ترین لایه مورد استفاده در پژوهش حاضر، متغیر وابسته در اجرای مدل رگرسیون لجستیک است. پراکنش رویدادهای زمین لغزش حوضه مورد بررسی در شکل (۲) نشان داده شده است.

---

1 Digital Elevation Model (DEM)
2 Cell Size



شکل ۲ پراکنش زمین لغزش‌های حوضه آبخیز طالقان (منبع: سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور)

نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر در زمین لغزش‌های حوضه طالقان که متغیرهای مستقل در رویداد زمین لغزش هستند، در محیط نرم‌افزاری Arc Map پردازش شدند. تهیه لایه زمین شناسی بر مبنای واحدهای زمین شناسی حوضه آبخیز طالقان انجام گرفت. براساس طبقه‌بندی فواصل معین از شبکه گسل‌های استخراج شده از نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه فاصله از گسل منطقه مورد مطالعه تهیه شد. نقشه فاصله از جاده نیز با طبقه‌بندی فواصل معین از جاده‌های محدوده مطالعاتی ایجاد گردید. برای اندازه‌گیری میزان تراکم شبکه زهکشی از تابع تراکم[1] در نرم افزار Arc Map استفاده شد. این تابع براساس شعاع مشخص در هر نقطه، مجموع طول آبراهه‌ها را بر مساحت تقسیم می‌کند (حسین زاده و همکاران، ۱۳۸۸)؛ در این پژوهش شعاع در نظر گرفته شده برای محاسبه تراکم شبکه زهکشی ۱۰۰ متر است. نقشه طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب نیز براساس مدل ارتفاعی رقومی ASTER تهیه گردیدند.

رگرسیون لجستیک و مدل‌سازی خطر وقوع زمین لغزش: این مدل که مدل تحلیلی چند متغیره از گروه مدل‌های آماری خطی تعمیم یافته است، جهت تحلیل حضور یا عدم حضور یک ویژگی یا خروجی برمبنای ارزش‌های مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل مفید است (لی و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۵). هدف اصلی از رگرسیون لجستیک، مدل‌سازی احتمال وقوع یک رویداد دو حالتی متداول، حضور و عدم حضور عوامل مختلف و معنی‌داری این حضور یا عدم حضور است (رودریگز[2] و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۷۸). مزیت مدل‌سازی با رگرسیون لجستیک نسبت به سایر فنون آماری چند متغیره مانند تحلیل رگرسیون چند متغیره و تحلیل تشخیص آن است که متغیر وابسته می‌تواند تنها دو مقدار داشته باشد که یکی احتمال وقوع حادثه و دیگری عدم وقوع آن است (دیی و همکاران، ۲۰۰۲: ۶۸). در پژوهش حاضر، از مدل رگرسیون لجستیک به‌منظور تحلیل ارتباط فضایی بین رویداد زمین لغزش و عوامل مؤثر در این رویداد استفاده می‌شود؛ که هدف اصلی از

1 Density
2 Rodriguez

اجرای آن یافتن بهترین مدل برای تشریح روابط میان حضور و یا عدم حضور متغیر وابسته (زمین لغزش) و مجموعه گروه‌هایی از متغیرهای مستقل در رویداد زمین لغزش است.

شکل عمومی معادله رگرسیون لجستیک به صورت رابطه (۱) است.

رابطه ۱:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

در این معادله P احتمال رویداد حادثه (در این پژوهش زمین لغزش) و Z پارامتر یا فاکتور خطی است و از رابطه ۲ به دست می‌آید؛ e نیز عدد ثابت ۲/۷۱۸ می‌باشد.

رابطه ۲:

$$z = \log it\ (p) = Ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$$
$$= C_0 + C_1X_1 + \ldots + C_nX_n$$

که C_0عرض از مبدأ یا ضریب ثابت مدل، و $X_1, X_2, \ldots X_n$ ضرایب مربوط بـه متغیـرهـای مسـتقل $C_1, C_2 \ldots C_n$.هستند.با تغییر مقدار Z از $-\infty$ تا $+\infty$ احتمال وقوع زمین لغزش (P) به صورت S از ۰ تا ۱ تغییر می‌کند که هرچه به عدد یک نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع زمین لغزش بیشتر و هرچه به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع آن کمتـر خواهد بود (چاو[1]و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۳۲).

کاربرد مدل رگرسیون لجستیک جهت شناسایی عوامل مؤثر در رویداد زمین لغزش به دو حالت حضور و عدم حضور این رویداد و یا به‌عبارتی صفر و یک می‌باشد. بنابراین به پهنه‌های لغزشی عدد یک و به پهنه‌هایی که زمین لغزش حضـور نداشت عدد صفر داده شد. استفاده از این پهنه‌ها در اجرای مدل، نیازمند تبدیل آن‌ها به لایه نقطه‌ایست؛ لایه‌ای که براساس همان صفر و یک ایجاد می‌شود. پس از ایجاد این لایه، با استفاده از روش ایجاد نقاط تصادفی[2] تعـداد ۵۰۰۰ نقطـه بـرای پهنه‌های با عدد یک و ۲۵۰۰۰ نقطه برای پهنه‌های با عدد صفر ایجاد و با هم ترکیب شدند. در ادامه، از طریـق Intersect Point Tool در محیط نرم‌افزارArc Map و براساس لایه‌های رستری مربوط به عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، ارزش این لایه‌های رستری طبقه‌بندی شده به لایه‌ی نقطه‌ای صفر و یک داده شد. لایه جدید به دست آمده شامل نقاطی است که هرکدام از آنها دارای ویژگی‌های لایه‌های رستری مورد استفاده می‌باشد. از این لایه برای اجرای مدل در محـیط نـرم‌افـزار SPSS بهره گرفته شد؛ اجرای مدل براساس متغیر وابسته (زمین لغزش) و متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر در زمین لغزش) انجام گرفت. ازآنجایی که متغیرهای مستقل به صورت لایه‌های گسسته (طبقه‌بندی شده) هستند، این طبقه‌بندی برای مدل

1Chau
2 Generate Random Point

تعریف شد تا یکی از طبقات در هر کدام از لایه‌ها به‌عنوان طبقه مبنا در نظر گرفته شده و ضرایب سایر طبقات با توجه به آن تحلیل گردد.

با توجه به ضرایب به دست آمده از مدل رگرسیون لجستیک، ضریب مثبت β به این معنی است که آن متغیر نقش بیشتری در وقوع زمین لغزش دارد و بالعکس ضریب منفی β نشانگر هم‌بستگی ضعیف متغیر مستقل با متغیر وابسته (زمین لغزش) است (آیالاو همکاران، ۲۰۰۵: ۲۳). پس از اعمال ضرایب به دست آمده از مدل به طبقات متغیرهای مستقل، براساس رابطه ۱ پارامتر خطی Z تهیه و در معادله اصلی رگرسیون لجستیک (رابطه ۲) جای‌گذاری شد.

برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، می‌توان به دو صورت عمل کرد: حالت اول این است که از همان ضرایب لایه‌های طبقه‌بندی شده حاصل از مدل رگرسیون لجستیک در پهنه‌بندی استفاده کرد، ولی در حالت دوم هرکدام از لایه‌های مؤثر در وقوع زمین لغزش به مقیاس صفر و یک برده می‌شوند که اصطلاحاً به آن استاندارد سازی لایه‌ها گفته می‌شود. این استاندارد سازی از طریق رابطه ۳ انجام می‌گیرد. انجام پهنه‌بندی با لایه‌های استاندارد شده سبب می‌شود لایه پهنه‌بندی به دست آمده از احتمال رویداد زمین لغزش به‌صورت s دامنه‌ای از صفر تا یک داشته باشد. در پژوهش حاضر، براساس نتیجه معادله اصلی رگرسیون لجستیک (P) از لایه‌های استاندارد شده، نقشه احتمال خطر زمین لغزش حوضه آبخیز طالقان تهیه و به پنج رده خطر بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین تقسیم گردید. پردازش این مراحل در محیط نرم‌افزار ArcMap انجام شد.

رابطه ۳:

$$X_{Standard} = \frac{X - Min\,(x)}{Max\,(x) - Min\,(x)}$$

مدل رگرسیون لجستیک با هفت متغیر مستقل برای ارزیابی عوامل مؤثر در رویداد زمین لغزش (متغیر وابسته) حوضه آبخیز طالقان بکار گرفته شد و براساس ضرایب به دست آمده برای متغیرهای مستقل از طریق اجرای مدل، پهنه‌بندی میزان خطر این رویداد نیز در محدوده مطالعاتی انجام گرفت. در ادامه نتایج حاصل از پردازش هرکدام از متغیرها آورده می‌شود.

زمین شناسی؛ زمین شناسی و ساختار متنوع آن باعث اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ‌ها و هم‌چنین تنوع جنس خاک می‌شود (آیالا و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۸). نوع سازند زمین شناسی هر ناحیه نقش مهمی در گسترش پهنه‌های لغزشی دارد (لی و همکاران، ۲۰۰۶: ۸۵۱). گستره واحدهای زمین شناسی محدوده مطالعاتی در شکل (۳) نشان داده شده است. هم‌چنین جدول (۱)، ویژگی‌های هر یک از این واحدها را نشان می‌دهد.

فاصله از گسل؛ در حوضه آبخیز طالقان وجود گسل‌ها نقش مهمی درافزایش زاویه شیب و ناپایداری دامنه ها دارند. با توجه به‌اینکه در بیشتر موارد لغزش‌ها معلول فشارهای نئوتکتونیکی هستند، در مناطقی که پراکندگی خطوط گسل بیشتر از سایر نقاط است، می‌توان شاهد تعدد وقوع حرکات توده‌ای به‌خصوص وقوع لغزش‌ها بود. بنابراین نه تنها عوامل تکتونیکی به‌طور مستقیم (تحریک سازندهای سست) باعث وقوع لغزش‌ها می‌شوند (رجایی، ۱۳۸۲)، بلکه به‌طور غیر

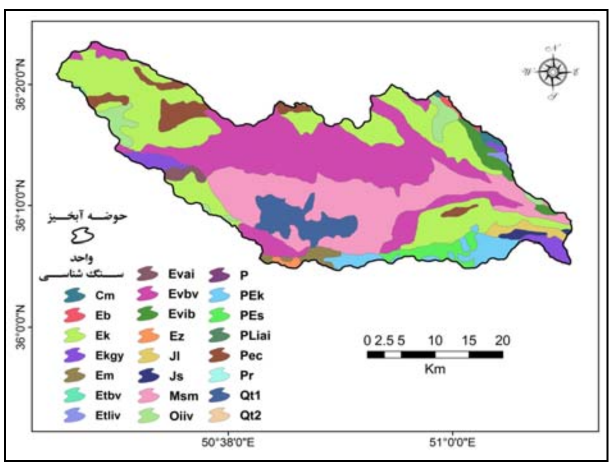
مستقیم نیز باعث ناپایداری دامنه‌ها می‌گردند. خطر رویداد زمین لغزش در نواحی که فاصله کمتری از گسل دارنـد بیشـتر است. در این پژوهش، جهت بررسی ارتباط زمین لغزش با عامل گسل، نقشه فاصله از گسل در فواصل مختلف تهیه و در لایه‌ای ٦ طبقه‌ای جای گرفت که در شکل (٤) نشان داده شده است.

فاصله از جاده؛ نوع کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی همیشه نقش تعیین کننده‌ای درتغییرات محیطی ایفا می‌کننـد. در بسیاری از موارد، مکان گزینی این کاربری‌ها به‌اندازه‌ای نامناسب بوده کـه باعـث ایجـاد نابـه‌سـامانی‌هـا و اخـتلال در اکوسیستم‌های طبیعی شده است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۲). جهت تحلیل رابطه فاصله از جاده با رویـداد زمـین لغزش در حوضه مورد مطالعه، لایه‌ای ٦ طبقه‌ای ایجاد گردید (شکل ۵).

ارتفاع؛ این عامل، جهت رواناب‌ها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می‌کند و در میزان رطوبت خاک و شیب دامنه‌ها تأثیر به‌سزایی دارد. نقشه ارتفاعی براساس مدل ارتفاعی رقومی در ٦ طبقه آماده گردید که در شکل (٦) آورده شده است.

شیب؛ شیب و مورفولوژی دامنه‌ها تأثیر بسیار زیادی در وقوع پدیده زمین لغزش دارد. وجود ایـن عامـل بـه‌صـورت بحرانی نقش تأثیرگذار عوامل دیگر را در حرکات توده‌ای تشدید می‌نماید. در یک دامنه یک شکل، با ویژگـی‌هـای مـواد برابر، افزایش شیب دامنه بیشترین ضریب تأثیر را در وقوع حرکات توده‌ای دارد(دیی و لـی، ۲۰۰۲: ۲۱۵). جهـت تحلیـل ارتباط این عامل با رویداد زمین لغزش لایه شیب براساس درجه و در ٦ طبقه تهیه گردید (شکل ۷).

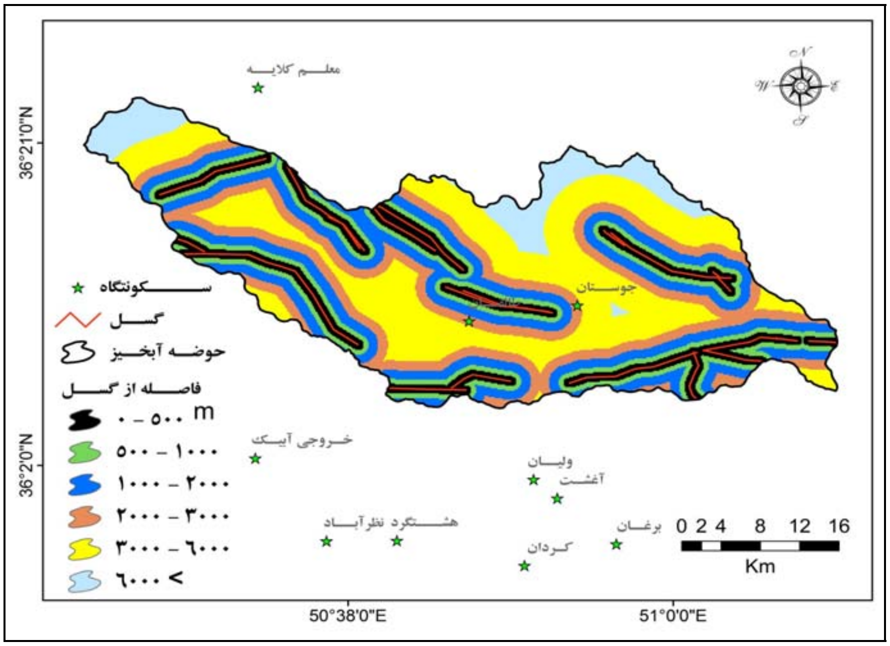
جهت شیب دامنه؛ جهت شیب دامنه نیز به‌عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر (متغیر مستقل) در ایجاد حرکـات تـوده‌ای مدنظر قرار گرفته است. در حالت کلی دامنه‌های شمالی و غربی به‌دلیل برخورداری از برف و رطوبت، نقش مـؤثرتری در ایجاد حرکات توده‌ای ایفا می‌کنند. برای این منظور، نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی در ۸ طبقه تهیه گردید (شکل ۸).



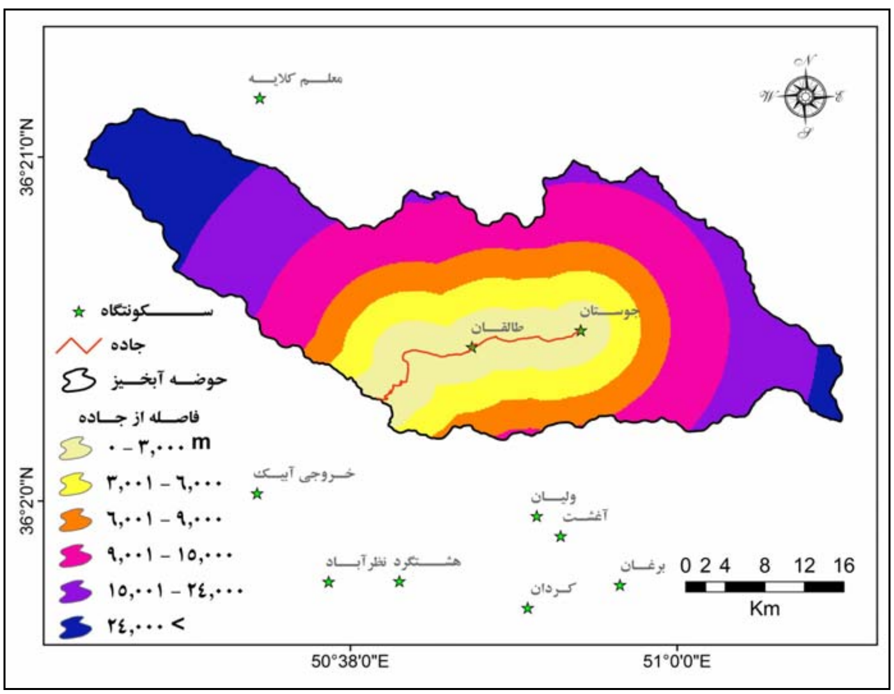
شکل ۳ واحدهای زمین شناسی حوضه آبخیز طالقان

جدول ۱ ویژگی واحدهای سنگ‌شناسی حوضه آبخیز طالقان

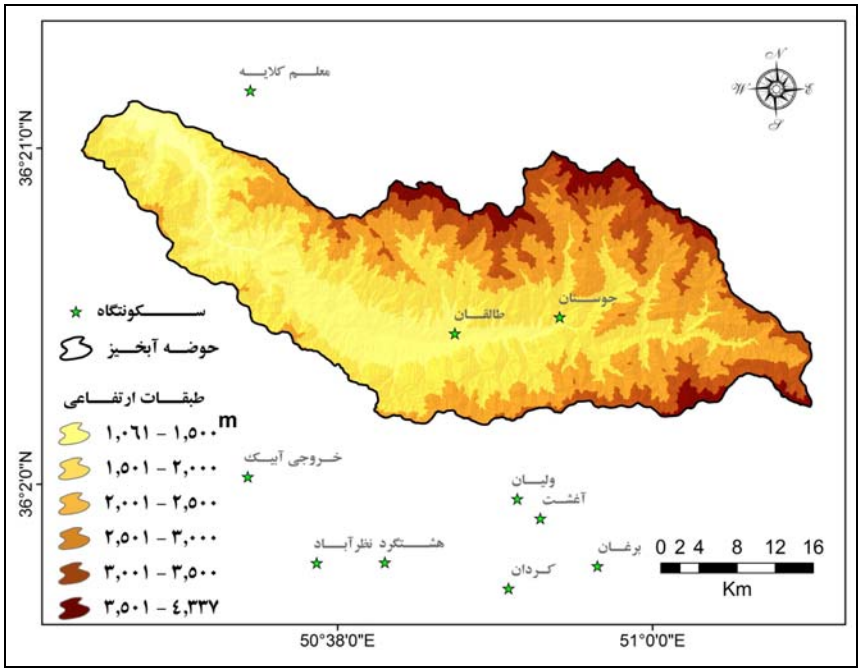
دوره	مشخصه	واحد	دروه	مشخصه	واحد
ائوسن میانه	عمدتاً بازالتوآندزیت بابافت حفره‌ای	Evbv	کواترنری	ذخایرتراسی ومخروط افکنه-های کوهپایه‌ای جدیدکم‌ارتفاع	Qt2
ائوسن پایانی	ژپیس	Ekgy	کواترنری	ذخایرتراسی ومخروط افکنه-های‌کوهپایه‌ای قدیمی مرتفع	Qt1
ژوراسیک ـ کرتاسه	سنگ آهک توده‌ای–نازک لایه خاکستری روشن (سازندلار)	Jl	پلیوسن	گرانیت دیوریتی	PLiai
تریاس	شیل خاکستری تیره و ماسه سنگ (سازند شمشک)	Js	پلیوسن ـ ائوسن	کنگلومرا با میان لایه‌های ماسه سنگی	Pec
پرمین	سنگ‌های تفکیک نشده پرمین	P	پلیوسن ـ ائوسن	سنگ آهک ریفی و مارن ژپیس‌دار(سازندزیارت)	Ez
پرمین	سنگ آهک توده‌ای تا متوسط لایه (سنگ آهکروته)	Pr	میوسن	مارن، ماسه سنگ کلسیم‌دار، سنگ آهک ماسه‌ای و کنگلومرای ریز	Msm
کربونیفر	سنگ آهک فسیل‌دار خاکستری تیره تا سیاه به‌همراه شیل سیاه زیرین (سازند مبارک)	Cm	الیگوسن	دیوریت	Oiiv
کامبرین	دولومیت نازک تا ضخیم لایه، سنگ آهک نرم فسیل‌دار، سیلتستون و ماسه سنگ (سازندمیلا)	Em	ائوسن	شیل تیره توف‌دار با میان لایه-هایی از توف (عضو زیرین توف) (سازند کرج)	Ek
پرکامبرین ـ کامبرین	واحد دولومیت ضخیم وسنگ آهک،بطور بخشی چرتی با میان لایه‌های شیل ضخیم (سازندسلطانیه)	PEs	ائوسن	توف بازالتی	Etbv
پرکامبرین	سنگ‌های تفکیک نشده پروتروزوئیک بالایی–کامبرین زیرین	Eb	ائوسن	گدازه‌های بازالتی و آندزیتی	Evib
پرکامبرین	شیل اسلیتی با میان لایه‌های فرعی ماسه سنگ کوارتزیتی (سازندکهر،سری‌های مراد وسازندکلمرد)	PEk	ائوسن	توف گدازه‌ای آندزیتی	Etliv
–	–	–	ائوسن	گدازه‌های داسیتی تا آندزیتی	Evai



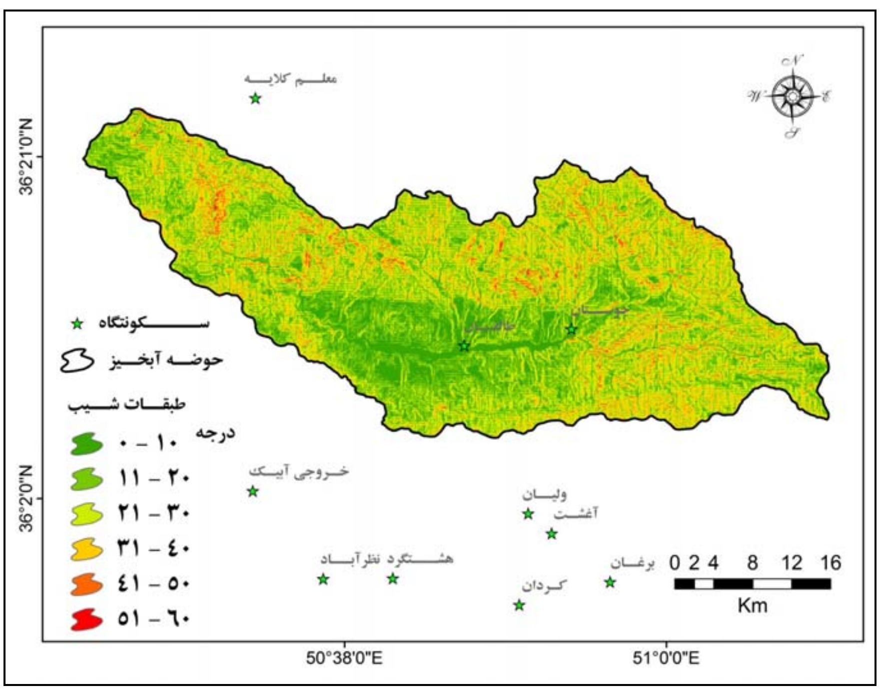
شکل ٤ نقشه فاصله از گسل حوضه آبخیز طالقان (فاصله به متر)



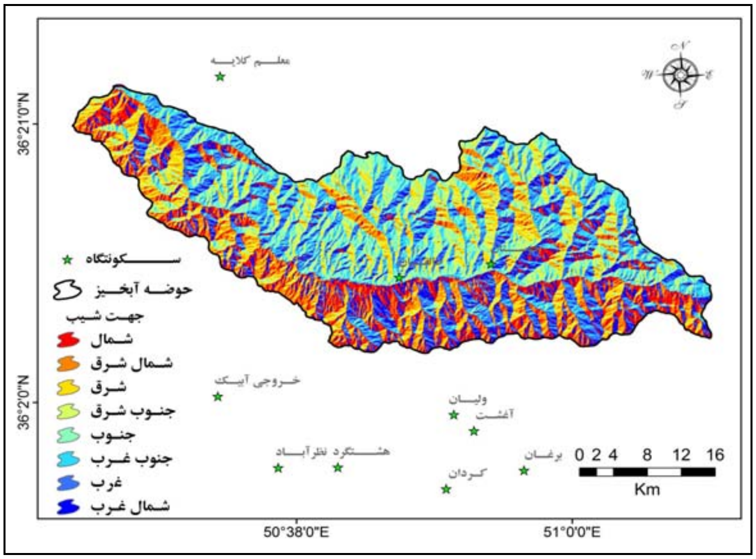
شکل ٥ نقشه فاصله از جاده حوضه آبخیز طالقان (فاصله به متر)



شکل ٦ نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبخیز طالقان (ارتفاع به متر)

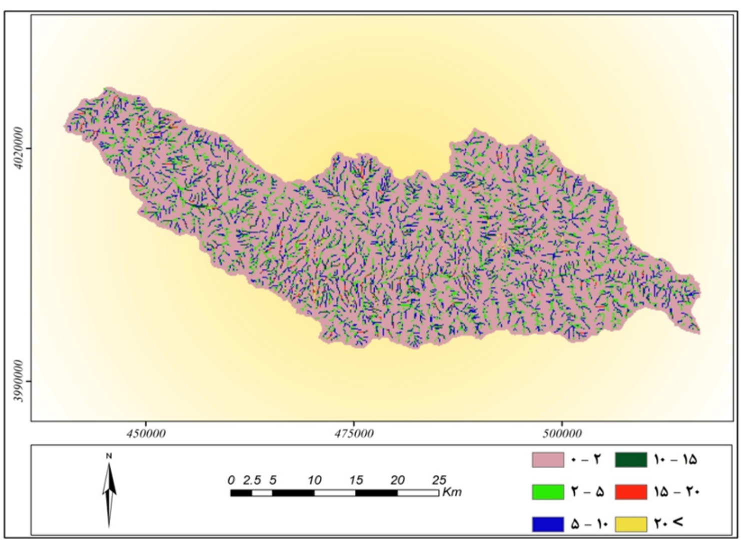


شکل ۷ نقشه شیب حوضه آبخیز طالقان (شیب به درجه)



شکل ۸ نقشه جهت شیب حوضه آبخیزطالقان

تراکم شبکه آبراهه؛ آب‌های جاری یکی از عوامل افزایش رویداد لغزش در دامنه‌ها به‌شمار می‌روند؛ به همین دلیل مجموع طول رودخانه‌ها در هر شبکه سلولی به‌عنوان عاملی در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌ها درنظر گرفته می‌شود. دامنه‌هایی که دارای شیب کمتری باشند، تراکم آبراهه‌ها بیشتر بوده، تراکم لغزش‌ها افزایش می‌یابد؛ این امر نقش مهم تراکم آبراهه‌ها را در ایجاد لغزش‌ها نشان می‌دهد. اما در جایی که شیب دامنه افزایش می‌یابد، میزان تراکم آبراهه‌ها **پایین** آمده و به تبع حرکات توده ای نیز کمتر می‌شود. شکل (۵) نتایج حاصل از تابع تراکم شبکه آبراهه را به‌صورت لایه ٦ طبقه‌ای نشان می‌دهد.



شکل ۹ نقشه تراکم شبکه آبراهه حوضه آبخیز طالقان (تراکم برحسب Km/Km^2)

۳- یافته‌های پژوهش

مدل رگرسیون لجستیک با هفت متغیّر مستقل برای ارزیابی عوامل مؤثر در رویداد زمین لغزش (متغیّر وابسته) حوضه آبخیز طالقان به کار گرفته شد و براساس ضرایب به دست آمده برای متغیّرهای مستقل از طریق اجرای مدل، پهنه‌بندی میزان خطر این رویداد نیز در محدوده مطالعاتی انجام گرفت.

نتایج حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک جهت ارزیابی مهم‌ترین عوامل مؤثر در رویداد زمین لغزش حوضه آبخیز طالقان در جدول (۲) نشان داده شده است. براساس نتایج، ضرایب لایه‌های فاصله از جاده، فاصله از گسل و ارتفاع منفی به دست آمده است که بیانگر رابطه معکوس متغیّر وابسته (زمین لغزش) با این متغیّرهای مستقل است؛ به‌عبارتی با افزایش فاصله از گسل و جاده و هم‌چنین افزایش ارتفاع، احتمال رویداد زمین لغزش کاهش می‌یابد. البته در مورد متغییر ارتفاع رابطه منفی برای طبقات ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری صدق نمی‌کند؛ به‌طوریکه طبقه ارتفاعی ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر دارای رابطه مثبت با احتمال رویداد زمین لغزش است و بیشترین زمین لغزش‌های محدوده مطالعاتی نیز در همین طبقه روی داده است. کاهش فراوانی رویداد لغزش در ارتفاعات بالا، نشان‌دهنده آن است که در منطقه عوامل دیگری هم‌چون لیتولوژی، بسیار مقاوم به زمین لغزش است. ارتباط زمین لغزش با لایه‌های جهت شیب، شیب، زمین شناسی و تراکم آبراهه مثبت است.

در مجموع براساس نتایج حاصل از مدل رگرسیون لجستیک، مؤثرترین عامل در رویداد زمین لغزش حوضه آبخیز طالقان لایه فاصله از گسل با ضریب ۱/۷۳۳- است. فاصله از جاده با ضریب ۰/۶۹۱- و تراکم شبکه آبراهه با ضریب ۰/۴۱۴ در درجه‌های بعدی اهمیت قرار دارند. عامل ارتفاع با ۰/۰۵۹- به‌عنوان کم‌اثرترین متغیّر مستقل در رویداد زمین لغزش حوضه مورد مطالعه مطرح است.

جدول ۲ ضرایب حاصل از رابطه رگرسیون لجستیک

متغییر مستقل	ضریب β	سطح معناداری
جهت شیب	۰/۳۳۵	۰
شیب	۰/۳٤۸	۰/۰۰۱
فاصله از جاده	-۰/٦۹۱	۰
زمین شناسی	۰/۲۸٤	۰
فاصله از گسل	-۱/۷۳۳	۰
ارتفاع	-۰/۰٥۹	۰/۰۰۹
تراکم شبکه آبراهه	۰/٤۱٤	۰/۰۰۷
عدد ثابت	-۱/۳۹٥	۰

جدول ۳ (الف و ب) میزان ضرایب اثرگذاری هر طبقه از متغیّرهای مستقل را برروی رویداد زمین لغزش نشان می‌دهد. با توجه به جدول، احتمال رویداد زمین لغزش در طبقه ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر بیشتر از سایر طبقات ارتفاعی است. مهم‌ترین طبقه شیب برای این رویداد در حوضه آبخیز طالقان طبقه ۱۰ تا ۲۰ درجه است؛ وضعیت شیب از آن جهت بااهمیت است که مکانیسم بسیاری از جابجایی‌های مربوط به مواد سطحی و فرآیندهای حمل، تابع میزان شیب است. در عامل جهت شیب، ضریب تأثیر گذاری جهت غرب در رویداد زمین لغزش بیش از سایر جهت‌ها به دست آمده است که دلیل این امر را می‌توان به تأثیر رطوبت به‌عنوان یکی از عامل‌های مؤثر بر رویداد حرکات توده‌ای نسبت داد. حوضه آبخیز طالقان تحت تأثیر سیستم باران‌زای غربی بوده که رطوبت جهت غربی دامنه‌های حوضه را تأمین می‌کند. بین رویداد زمین لغزش با تراکم شبکه آبراهه همبستگی مثبت وجود دارد؛ با توجه به‌اینکه هرچه تراکم شبکه آبراهه بیشتر باشد احتمال زمین لغزش افزایش می‌یابد، مؤثرترین طبقه این عامل در زمین لغزش‌های حوضه طالقان طبقه ۱۵ تا ۳۰ (کیلومتر بر کیلومترمربع) است. هرچه فاصله به گسل نزدیک‌تر باشد احتمال زمین لغزش افزایش می‌یابد که نتایج حاصل از مدل رگرسیون لجستیک در این پژوهش نیز آن را تأیید می‌کند؛ به‌طوری‌که طبقه ۰ تا ۵۰۰ متر به‌عنوان اولین طبقه فاصله از گسل، مؤثرترین طبقه نیز در رویداد زمین لغزش است. فاصله از جاده نیز مشابه لایه گسل است، با افزایش فاصله از جاده، احتمال رویداد زمین لغزش نیز کاهش پیدا می‌کند؛ مؤثرترین طبقه این عامل فاصله ۰ تا ۳۰۰۰ متری از جاده است. در توضیح نتایج به دست آمده لازم است ذکر شود که دامنه‌ها در طول زمان به سمت تعادل پیش می‌روند؛ حال هر فعالیتی این تعادل را برهم بزند، احتمال رویداد حرکات توده‌ای از جمله زمین لغزش را تقویت می‌کند. احداث جاده، زیربری رودخانه و همچنین فعالیت گسل‌ها از جمله‌ی عوامل برهم زدن تعادل دامنه‌ها هستند که می‌توانند در رویداد زمین لغزش هر منطقه نقش زیادی داشته باشند.

جدول ۳ (الف) ضریب تأثیرگذاری طبقات متغیّرهای مستقل در رویداد زمین لغزش

ارتفاع		**شیب**		**جهت شیب**	
طبقه	ضریب β	طبقه	ضریب β	طبقه	ضریب β
۱۵۰۰-۱۰۰۰	-۱/۲۹۹	۱۰-۰	۰/۰۸٤	شمال	-۰/۱۵۵
۲۰۰۰-۱۵۰۰	۰/۰۹۱	**۲۰-۱۰**	**۰/۲۵**	جنوب	۰/۰۳۷
۲۵۰۰-۲۰۰۰	-۰/۰۸٦	۳۰-۲۰	۰/۲۲٤	**غرب**	**۰/۱۹۸**
۳۰۰۰-۲۵۰۰	**۰/۱۰۵**	٤۰-۳۰	۰/۲۱۱	شرق	۰/۱۱۸
۳۵۰۰-۳۰۰۰	-۰/۱۱٦	۵۰-٤۰	۰/۱۹۵		

جدول۳ (ب) ضریب تأثیرگذاری طبقات متغیّرهای مستقل در رویداد زمین لغزش

تراکم شبکه آبراهه		فاصله از گسل		فاصله از جاده	
طبقه	ضریب β	طبقه	ضریب β	طبقه	ضریب β
۰-۳	۰/۳٦٦	۰-۵۰۰	**۱/٦۹۱**	**۰-۳۰۰۰**	**۰/۷۳۲**
۳-۷	۰/٦۲	۵۰۰-۱۰۰۰	۱/٤۲٤	۳۰۰۰-٦۰۰۰	۰/۵۲٤
۷-۱۱	۰/٤۳۲	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۱/۳۲	٦۰۰۰-۹۰۰۰	۰/۲۳۸
۱۱-۱۵	۰/٤۵۷	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۱/٤۳۹	> ۹۰۰۰	۰/۱۵٤
۱۵-۳۰	**۰/۸۵۱**	۳۰۰۰-٦۰۰۰	۱/۲٤۱		

گسترش سازندهای کرج و قرمز بالایی با نوع مصالح موجود در این سازندها به‌همراه یک سری چین و راندگی‌های شرقی –غربی که به‌سوی شمال و جنوب برهم رانده شده اند، ساختار زمین شناسی حوضه آبخیز طالقان را تشکیل می‌دهند. سرگذشت زمین ساخت حوضه با افزایش کوه‌های طالقان در جنوب و البرز در شمال و عملکرد مکانیسم‌های فرسایش بعدی، با ایجاد دره‌های عمیق و دامنه‌های پرشیب، به‌همراه چینه شناسی و سنگ شناسی خاص منطقه باعث گردیده تا فرآیندهای لغزشی در نقاط مختلفی از حوضه قابل تشخیص باشد. پهنه‌های لغزشی در جاهای مختلف حوضه گسترش دارند و این بیانگر مساعد بودن شرایط سنگ شناسی و زمین شناسی حوضه برای رویداد زمین لغزش است.

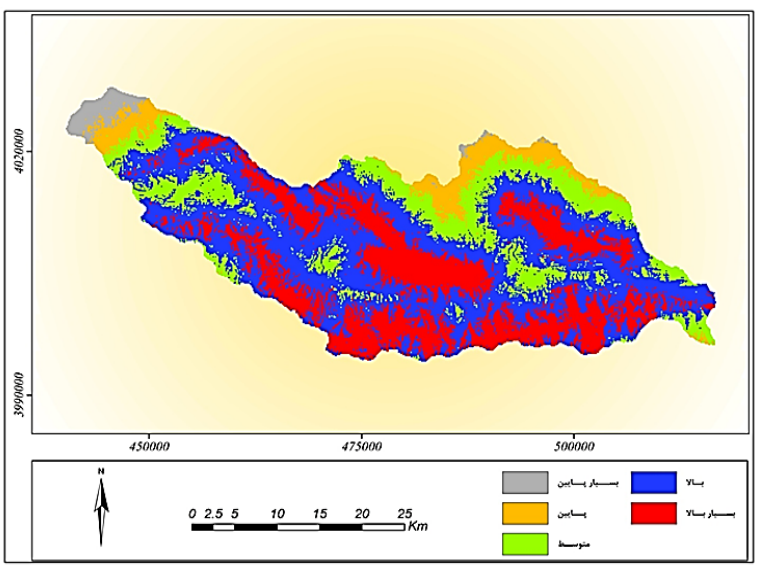
٤- نتیجه گیری

زمین لغزش یکی از مخاطره آمیزترین بلایای طبیعی است که دولت و مؤسسه‌های پژوهشی هرساله برای ارزیابی میزان خسارت جهت نشان دادن توزیع فضایی آن تلاش می‌کنند. در این پژوهش، مدل آماری رگرسیون لجستیک در محیط نرم‌افزار Arc GIS برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز طالقان به کار گرفته شد. این مدل جهت شناسایی عوامل مؤثر در رویداد زمین لغزش، ایجاد و همچنین تحلیل ارتباط این رویداد با عوامل محیطی استفاده گردید. عامل‌های زمین شناسی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، ارتفاع، شیب، جهت شیب و تراکم شبکه آبراهه به‌عنوان متغیّرهای مستقل و پهنه‌های لغزشی به‌عنوان متغیّر وابسته در اجرای مدل رگرسیون لجستک وارد شدند. تحلیل این ارتباط برمبنای نتایج مدل، متغیّر فاصله از گسل را با ضریب **۱/۷۳۳**- به‌عنوان مؤثرترین عامل در رویداد زمین لغزش‌های حوضه مورد مطالعه معرفی می‌کند؛ انطباق نقشه پراکنش پهنه‌های لغزشی با لایه فاصله از گسل نیز این ارتباط را بخوبی تآیید می‌کند. ضریب منفی بیانگر ارتباط معکوس این دو متغیّر است که با افزایش فاصله از گسل، احتمال رویداد لغزش نیز کاهش می‌یابد. متغیّرهای فاصله از جاده، تراکم شبکه آبراهه، شیب، جهت دامنه، زمین شناسی و ارتفاع در درجه‌های بعدی اهمیت قرار دارند که در این بین ارتباط زمین لغزش با فاصله از جاده به‌صورت منفی است.

برمبنای ضرایب به دست آمده از مدل رگرسیون لجستیک برای لایه‌های استاندارد شده، پهنه‌بندی میزان خطر رویـداد زمین لغزش برای حوضه آبخیز طالقان در نرم‌افزار Arc Map انجام گرفت که نقشه آن در شـکل (۱۰) نشـان داده شـده است. میزان احتمال رویداد زمین لغزش (P) از ۰/۱ تا ۰/۶۶ به دست آمد که براساس روش طبقه‌بندی فاصله ژئومتریـک[۱] به پنج رده با خطر بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین تقسیم شد؛ مساحت هرکدام از این پهنـه‌هـا در جـدول (٤) نشان داده شده است. انتخاب این روش برای طبقه‌بندی به‌دلیل انطباق بیشتر آن با واقعیت منطقه است. با توجه به جـدول، ۷۲/۸۳ درصد از مساحت حوضه آبخیز طالقان در رده‌های با خطر بالا و بسیار بالا قرار می‌گیرد که نشان از مسـتعد بـودن این حوضه برای رویداد زمین لغزش است.

جدول ٤ مساحت پهنه‌های لغزش حوضه آبخیز طالقان در ۵ رده خطر

میزان خطر	احتمال رویداد زمین لغزش	مساحت	درصد
بسیار پایین	۰/۱–۰/۲	۳۰/۷	۲/۳۳
پایین	۰/۲–۰/۳	۹۰/۰۹	٦/۸٤
متوسط	۰/۳–۰/٤	۲۳۷/۲۱	۱۸
بالا	۰/٤–۰/۵	۵۸۸/۳	٤٤/٦٤
بسیار بالا	۰/۵–۰/٦٦	۳۷۱/۵	۲۸/۱۹



شکل ۱۰ نقشه پهنه‌بندی میزان خطر رویداد زمین لغزش در حوضه آبخیز طالقان

1 Geometric Interval

نتایج حاصل از اجرای مدل، بهترین تابع برازش را جهت توصیف ارتباط بین عامل‌های مؤثر (متغیّر مستقل) با رویـداد زمین لغزش (متغیّر وابسته) و نیز پهنه‌بندی آن در حوضه مورد مطالعه به دست داد. تأثیر هرکدام از متغیّرهـای مسـتقل بـر زمین لغزش، از ضریب مشابه در تابع رگرسیون لجستیک ارزیابی شد. این ارزیابی، منجر بـه تهیـه نقشـه پهنـه‌بنـدی ایـن مخاطره ژئومورفولوژیکی و در نهایت فهم بهتر آن شده که این فهم، یکی از راهکارهای مهم برای کاهش خسارات ناشـی از رویداد این پدیده است.

References

Agricultural Jihad Ministry. 2004. Report of Nation Landslide Database. Landslide Study Group,Watershed, Ranges and Forests Organization. (In Per.)

Ahmadi, H., Esmaili, A., Fayznia, S., and Shariat J. M. 2003. Zonation of the Mass Movements using Multivariate Regression (MR) and Analytic Hierarchy Process (AHP) Methods, a Case Study Germy Chai Watershed. Natural Resources of IRAN, 56 (4): 323-336. (In Per.)

Ashghali Farahani, A. 2001. Assessment of the Natural Slopes Instability Risk in Roudbar Area using Fuzzy Theory. Thesis of M.Sc Degree in Engineering Geology, Tarbiat Moalem University, 141 pp. (In Per.)

Ayalew, I. and Yamagishi H. 2005. The Application of GIS-based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Kakuda-Yaahiko Mountains Central Japan, Geomorphology, 65: 15-31. (In Eng.)

Can, T., Nefeslioglu, H. A., Gokceoglu, C., Sonmez, H. and Duman, Y. 2005. Susceptibility Assessment of Shallow Earth Flows Triggered by Heavy Rainfall at three Catchments by Logistic Regression Analysis, Geomorphology, 82: 250-271. (In Eng.)

Chang, K. T. and Chiang, S. H. 2007. Modeling Typhoon and Earthquake induced Landslide in a Mountainous Watershed using Logistic Regression. Geomorphology, 89: 335-347. (In Eng.)

Chau, K. T., Sze, Y. L., Fung, M. K., Wong, W. Y., Fong, E. L. and Chan, L. C. 2004. Landslide Hazard Analysis for Hong Kong using Landslide Inventory and GIS. Computers and Geosciences, 30: 429-443. (In Eng.)

Dai, F. C. and Lee, C. F. 2002. Landslide Characteristics and Slope in Stability Modeling using GIS Lantau Island Hong Kong. Geomorphology, 42: 213-228.(In Eng.)

Dai, F. C., Lee, C. f. and Ngai, Y. Y. 2002. Landslide Risk Assessment and Management: an Overview. Engineering Geology, 64: 65-87. (In Eng.)

Duman, T. Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A. and Sonmez, H. 2006. Application of Logistic Regression for Landslide Susceptibility Zoning of Cekmece Area Istanbul Turkey. Environmental Geology, 51: 241-256. (In Eng.)

Garaay, P. 2007. Study of Mass Movements to Present the Risk Zonation Regional Model in Lajimroud Watershed. Thesis of M.Sc Degree, Mazandaran University, pp. 231. (In Per.)

Garcia-Rodriquez, M. J., Malplica, B. and Diaz, M. 2008. Susceptibility Assessment of Earthquake Triggered Landslide in EI Salvador using Logistic Regression. Geomorphology, 95: 172-191. (In Eng.)

Gouraki Nejhad, M., Onagh, M., Islami, M., Kabir, A., and Shafiezadeh, A. 2005. Landslide Risk Zonation in Golestan Roudbar Siah Watershed. 2th Congress of Watershed, Soil and Water Resources Management, Kerman, pp. 361-368. (In Per.)

Haghshenas, E. 1995. Zonation of Landslide and its Relation with Sediment Yield in Taleghan Watershed. Thesis of M.Sc Degree, Tarbiat Modarres University, pp. 156. (In Per.)

Hosseinzadeh, M., Servati, M. R., and Mansouri, A. 2009. Zonation of Mass Movements Occurring Risk using Logistic Regression Model. IRAN Geology Quarterly, 3 (11): 27-37. (In Per.)

Lee, S. and Pradhan, B. 2007. Landslide Hazard Mapping at Selangor Malaysia using Frequency Ratio and Logistic Regression models, Landslide, 4: 33-41. (In Eng.)

Lee, S. and Sambath, T. 2006. Landslide Susceptibility Mapping in the Dameri Romel Areas Cambodia using Frequency Ratio and Logistic Regression Models. Environmental Geology, 50: 847-855. (In Eng.)

Lee, S. 2007. Application and Verification of Fuzzy Algebraic Operators to Landslide Susceptibility Mapping. Environment Geology, 52: 615-623. (In Eng.)

Mossafay, J., Onagh, M., and Shariat Jaefari, M. 2009. Comparing of Theorical and Statistical Models in Alamout Watershed Landslide Risk Zonation. Journal of Natural Resources and Agricultural Sciences, 16 (4): 25-42. (In Per.)

Nikandish, N. 1997. Study of Earth Mass Movement Importance in IRAN. Jihad Technical Journal, 12 (155): 46-61. (In Per.)

Ohlmacher, G. C. and Davis, J. C. 2003. Using Multiple Logistic Regression and GIS Technology to Predict Landslide Hazard in Northeast Kansas USA. Engineering Geology, 69: 331-343. (In Eng.)

Rajahy, A. 2003. Implication of Physical Geography in Rural and Urban Planning. Samt Publication, Tehran. (In Per.)

Shirani, K. 2003. Assessment of Landslide Risk Zonation Methods to select the Proper Method for Semirom Area of Esfahan Province in Maribor River Route. Soil Conservation and Watershed Institute. Tehran, pp. 104. (In Per.)